

УДК 621.3.038

Невар Галина Валерьевна, старший преподаватель кафедры «Приборостроение и транспорт», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

e-mail: gvnevar@mail.sevsu.ru

Чаленков Никита Игоревич, старший преподаватель кафедры «Информационные технологии и системы», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

e-mail: nichalenzkov@mail.sevsu.ru

Соустова Лада Игоревна, старший преподаватель кафедры «Приборостроение и транспорт», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

e-mail: listoustova@mail.sevsu.ru

Огрызков Сергей Витальевич, старший преподаватель кафедры «Приборостроение и транспорт», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

e-mail: ogrizkov@mail.sevsu.ru

Мишин Иван Александрович, старший преподаватель кафедры «Приборостроение и транспорт», Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Россия

e-mail: iamishin@mail.sevsu.ru

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ В ОДНОСТЕННЫХ РЕЗЕРВУАРАХ

Аннотация. Рассматривается концепция автоматизированной системы контроля и поддержания уровня жидкости в одностенных вертикальных резервуарах. Измерение уровня выполняется радарным датчиком с интерфейсом

токовой петли 4–20 мА. Для повышения помехоустойчивости предусмотрены настраиваемый гистерезис, цифровая фильтрация последовательных измерений и регулируемая задержка запуска насоса. Разработка представляет собой универсальную концепцию прибора, позволяющую предотвратить аварийные ситуации, связанные с переливом или осушением резервуаров.

Ключевые слова: контроль уровня жидкости, одностенные резервуары, микроконтроллер, радарный уровнемер, гистерезис, цифровая фильтрация, автоматизированная система.

Nevar Galina Valerievna, Senior Lecturer, Department of Instrument Engineering and Transport, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

e-mail: gvnevar@mail.sevsu.ru

Chalencov Nikita Igorevich, Senior Lecturer, Department of Information Technologies and Systems, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

e-mail: nichalencov@mail.sevsu.ru

Soustova Lada Igorevna, Senior Lecturer, Department of Information Technologies and Systems, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

e-mail: e-mail: listoustova@mail.sevsu.ru

Ogryzkov Sergey Vitalievich, Senior Lecturer, Department of Information Technologies and Systems, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

e-mail: ogrizkov@mail.sevsu.ru

Mishin Ivan Aleksandrovich, Senior Lecturer, Department of Information Technologies and Systems, Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

e-mail: iamishin@mail.sevsu.ru

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED LIQUID LEVEL CONTROL SYSTEM IN SINGLE-WALL TANKS

Abstract. The concept of an automated liquid level control and maintenance system in single-wall vertical tanks is considered. The level is measured by a radar

sensor with a 4-20 mA current loop interface. To improve noise immunity, a configurable hysteresis, digital filtering of sequential measurements, and an adjustable pump start delay are provided. The development is a universal concept of a device that allows you to prevent emergencies related to overflow or drying of tanks.

Keywords: liquid level control, single-wall tanks, microcontroller, radar level meter, hysteresis, digital filtering, automated system.

1. Введение. Контроль уровня жидкости в резервуарах является критически важной задачей в нефтегазовой, химической, пищевой и энергетической отраслях промышленности [1, 5]. Особенно это актуально для одностенных вертикальных резервуаров, где отсутствие дополнительной защитной оболочки требует повышенной надежности систем контроля. Недостаточно точный контроль может привести к переполнению емкостей, утечкам, повреждению технологического оборудования, а также к серьезным экологическим и экономическим последствиям [1,7]. Кроме того, достоверная информация об уровне необходима для эффективного управления запасами, оптимизации технологических процессов и обеспечения промышленной безопасности.

Существующие методы контроля уровня жидкости можно разделить на механические (поплавковые датчики, механические уровнемеры) и электронные (ультразвуковые, радарные, гидростатические, емкостные). Механические устройства отличаются простотой и низкой стоимостью, однако их точность и надежность ограничены. Электронные методы обеспечивают высокую точность, возможность дистанционного мониторинга и интеграции в автоматизированные системы управления [5,10]. Выбор конкретного метода зависит от свойств контролируемой среды, условий эксплуатации и требований технологического процесса.

Предлагаемая концепция прибора представляет собой универсальное настраиваемое решение для автоматизации контроля уровня жидкости в одностенных вертикальных резервуарах, пригодное для работы с такими

средами, как вода, дизельное топливо, а также другие технологические жидкости. Принципиальной особенностью является отсутствие жесткой привязки к конкретной элементной базе — система может быть реализована на любом современном микроконтроллере (семейств STM32, PIC, AVR, ESP32 и др.), что обеспечивает гибкость при проектировании и возможность масштабирования.

2. Основная часть. Устройство предназначено для контроля уровня жидкости в одностенных вертикальных резервуарах рисунок 1. В частности, может использоваться для таких сред как вода и дизельное топливо.

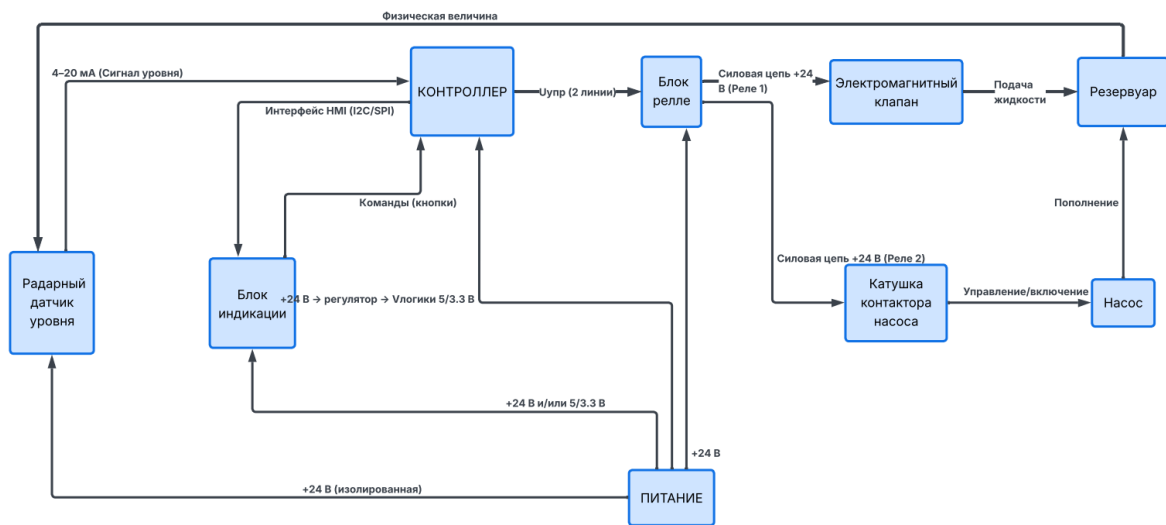


Рисунок 1– Структурная схема автоматизированной системы контроля и поддержания уровня жидкости в одностенных вертикальных резервуарах

Структурная схема включает пять основных функциональных блоков. Блок измерения уровня включает в себя радарный датчик, установленный на одностенном резервуаре, который непрерывно измеряет расстояние до поверхности жидкости и преобразует его в унифицированный токовый сигнал 4–20 мА. Выбор радарного метода обусловлен его высокой точностью, устойчивостью к загрязнениям и независимостью от физико-химических свойств жидкости (диэлектрической проницаемости, плотности, вязкости). Питание датчика осуществляется от отдельного изолированного источника +24 В, что исключает влияние силовых цепей на точность измерений.

Блок управления, который является центральным элементом системы на базе микроконтроллера (может быть выбран из семейств STM32, PIC, AVR, ESP32 или других в зависимости от требуемой производительности, энергопотребления и стоимости). Микроконтроллер принимает токовый сигнал через аналого-цифровой преобразователь (АЦП) или специализированный преобразователь токовой петли, преобразует его в значение уровня в процентах от полной емкости резервуара и выполняет алгоритм обработки, включающий сравнение текущего уровня с заданной уставкой, применение гистерезиса (настраивается от 0 до 100% от уставки) для подавления ложных срабатываний, фильтрацию по количеству последовательных измерений, вышедших за границу гистерезиса (от 0 до 1000), а так же формирование временных задержек между управляющими воздействиями.

Блок оптоэлектронной развязки и исполнительных реле включает в себя два электромагнитных реле, гальванически изолированных от микроконтроллера с помощью оптопар. Реле 1 управляет электромагнитным клапаном пополнения жидкости. Реле 2 управляет катушкой трехфазного силового контактора, запускающего нагнетательный насос. Оптоэлектронная развязка обеспечивает защиту низковольтных цепей управления от перенапряжений и электромагнитных помех, возникающих при коммутации силовых нагрузок, что критически важно для надежной работы микроконтроллера.

Блок интерфейса оператора — включает ЖК-дисплей для отображения текущего уровня, уставок, состояния реле и меню настроек, а также кнопочную панель (минимально 3 кнопки навигации, кнопки ввода и блокировки паролем) для настройки параметров и управления режимами работы. Интерфейс должен быть интуитивно понятным и не требовать от оператора специальных знаний в области программирования.

Блок электропитания, который является общим источником постоянного тока напряжением +24 В, обеспечивающий питание микроконтроллера (через соответствующий стабилизатор напряжения 5 В или 3,3 В), датчика, катушек

реле, ЖК-дисплея и кнопочной панели. Силовые цепи клапана и контактора насоса также рассчитаны на +24 В, что унифицирует требования к электропитанию и упрощает проектирование.

Принцип действия прибора описан алгоритмом, представленном на рисунке 2. Система работает в непрерывном цикле измерения, обработки и управления.

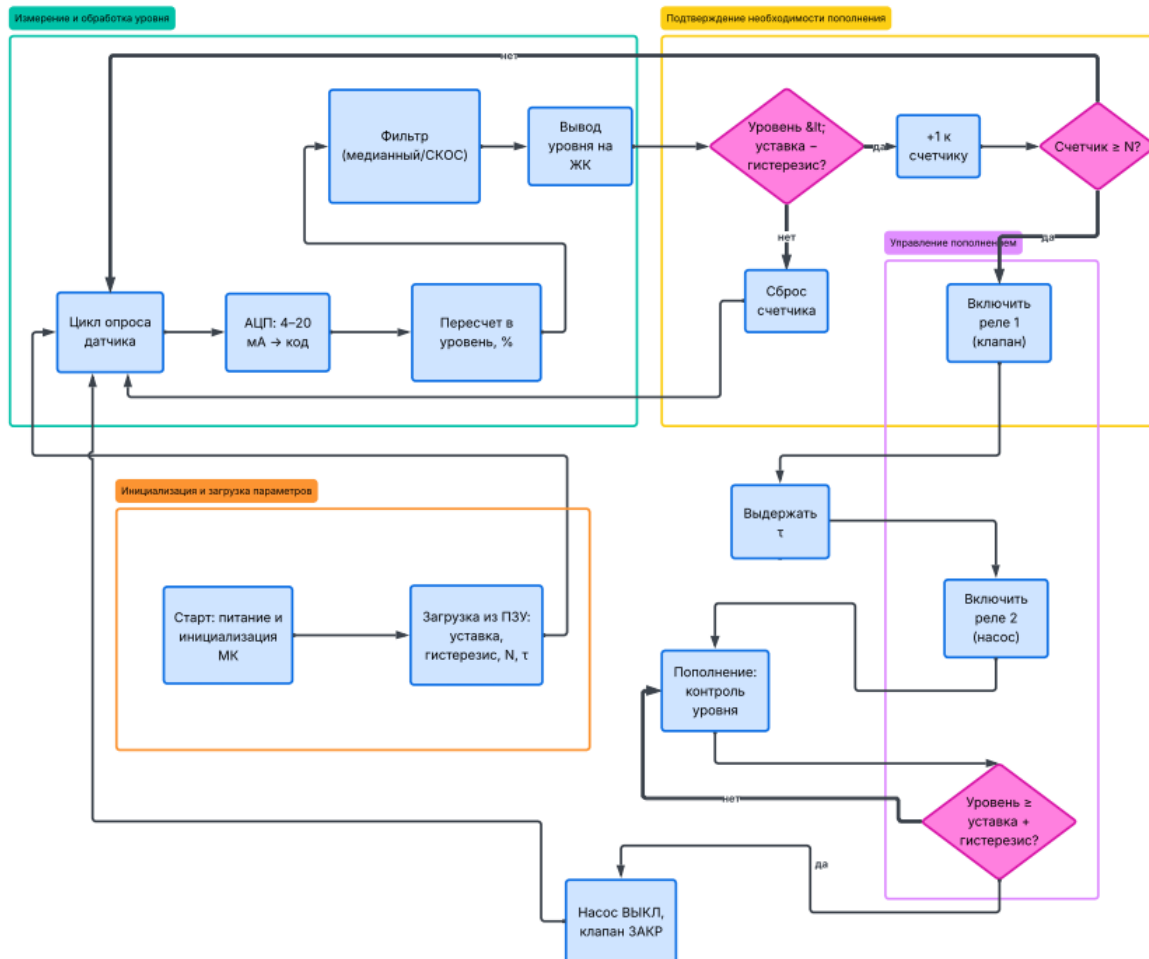


Рисунок 2– Алгоритм работы автоматизированной системы контроля и поддержания уровня жидкости в одностенных вертикальных резервуарах

Алгоритм функционирует следующим образом. После подачи питания и инициализации микроконтроллер загружает сохраненные в энергонезависимой памяти настройки (уставка уровня пополнения, значение гистерезиса, количество измерений N для подтверждения, задержка τ между открытием

клапана и запуском насоса). Далее система непрерывно опрашивает радарный датчик: аналоговый сигнал 4–20 мА преобразуется АЦП микроконтроллера в цифровой код, который затем пересчитывается в значение уровня в процентах от полной емкости резервуара.

Для дополнительного повышения помехоустойчивости в алгоритм может быть добавлена цифровая фильтрация — например, медианный фильтр или фильтр скользящего среднего, которые подавляют высокочастотные выбросы. Текущее отфильтрованное значение выводится на ЖК-дисплей.

Если измеренный уровень оказывается ниже заданной уставки за вычетом значения гистерезиса, увеличивается счетчик «за границей». Только когда этот счетчик достигнет заданного количества измерений N , система принимает решение о необходимости пополнения. Такой подход эффективно фильтрует случайные кратковременные колебания уровня (волны на поверхности, турбулентность при заливке, вибрации резервуара), предотвращая ложные срабатывания.

При подтверждении необходимости пополнения сначала микроконтроллер включает реле 1 (электромагнитный клапан). После выдержки заданной задержки τ (необходимой для заполнения трубопровода и стабилизации потока жидкости) включается реле 2 (контактор насоса). Пополнение продолжается до тех пор, пока уровень не достигнет значения уставки плюс гистерезис. После этого насос останавливается, клапан закрывается, и система возвращается в режим мониторинга.

Предлагаемая концепция прибора не накладывает жестких ограничений на выбор конкретных компонентов. Однако для обеспечения заявленных характеристик рекомендуется придерживаться следующих требований:

1. *Микроконтроллер*. Наличие как минимум одного АЦП с разрешением не менее 10 бит (рекомендуется 12 бит) для преобразования сигнала 4–20 мА. Наличие достаточного количества цифровых выводов для управления двумя реле, подключения кнопочной панели (3–6 кнопок) и ЖК-дисплея (параллельный или I2C интерфейс). Наличие энергонезависимой памяти

(EEPROM или Flash) для хранения настроек. Тактовая частота — не менее 8 МГц (для обеспечения приемлемой скорости обработки).

2. *Измерительный канал.* Прецизионный токоизмерительный резистор (например, 100–250 Ом, 0.1%) для преобразования тока 4–20 мА в напряжение. Защита входа АЦП от перенапряжения (супрессоры, диоды Шоттки). Возможно использование специализированного приемника токовой петли (например, RCV420 или более простые схемы на операционных усилителях).

3. *Оптоэлектронная развязка.* Оптопары (например, PC817, HCPL-3700) для гальванической изоляции цепей управления реле. Отдельные изолированные источники питания для силовой части (рекомендуется DC-DC преобразователь с изоляцией).

4. *Интерфейс оператора:* ЖК-дисплей – символьный 16×2 или 20×4 (наиболее распространен и удобен), либо графический дисплей для более детального представления информации. Кнопочная панель – тактовые кнопки с аппаратным подавлением дребезга (RC-цепочки или программная антидребезговая обработка).

5. *Питание.* Основной источник 24 В постоянного тока. Стабилизатор для микроконтроллера и периферии: 5 В или 3,3 В (например, LM2596, L7805 или импульсный DC-DC преобразователь).

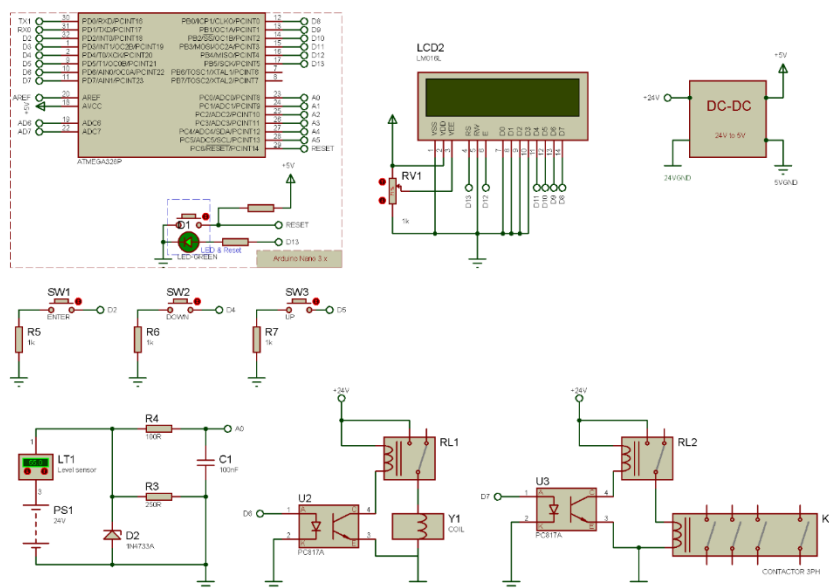


Рисунок 3 – Схема устройства электрическая принципиальная

Разработанная концепция автоматизированной системы контроля уровня жидкости (электрическая принципиальная схема устройства – рисунок 3) обладает широкими возможностями настройки, однако для достижения максимальной эффективности в конкретных условиях эксплуатации требуется обоснованный выбор значений управляющих параметров. В связи с этим дальнейшим направлением исследований является изучение влияния уровня гистерезиса на качество работы системы.

Заключение. Предложенная концепция позволяет предотвратить аварийные ситуации, связанные с переливом или осушением одностенных резервуаров, сократить потери продукта, снизить износ насосного оборудования и оптимизировать технологические процессы. Гибкость настроек и независимость от конкретной элементной базы делают её применимой в широком круге промышленных и коммунальных задач — от небольших емкостей с дизельным топливом до крупных резервуаров водоснабжения и химических производств.

Дальнейшие исследования влияния гистерезиса на эффективность работы системы, позволят усовершенствовать алгоритмы управления, создать методики оптимальной настройки и адаптировать устройство к конкретным условиям эксплуатации с минимальным участием оператора.

Библиографический список

1. Прахова М.Ю. Системы автоматизации в нефтяной промышленности: учеб. пособие / М.Ю. Прахова [и др.] ; под общ. ред. М.Ю. Праховой. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия. 2019. 304 с.
2. В. Wayne Bequette. Process Control: Modeling, Design, and Simulation. Prentice Hall, 2003.
3. ГОСТ ИЕС 60947-4-1-2021. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 4-1. Контактторы и пускатели.
4. Ошурко В. Б. “Гистерезис и отрицательное дифференциальное сопротивление вольт-амперной характеристики водного мостика”/

В. Б. Ошурко, А. Н. Федоров, А. А. Ропяной, М. В. Федосов // Журнал технической физики. Т. 84, выпуск 8 2014. С.144–147.

5. Голубинский Ю. М. Анализ методов и средств измерения уровня жидких продуктов / Ю. М. Голубинский, Е. А. Федин // Методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации ("Шляндинские чтения - 2019") : Материалы XI Международной научно-технической конференции с элементами научной школы и конкурсом научно-исследовательских работ для студентов, аспирантов и молодых ученых, Пенза, 28–30 октября 2019 года / под ред. Е. А. Печерской. – Пенза: Пензенский государственный университет, 2019. С. 165-166.

6. Ершов М. Н. Методы измерения уровня жидких продуктов: теория и практика / М. Н. Ершов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2010. № 4-1. С. 49-57.

7. Левин С.Н. О некоторых вопросах коммерческого учета нефти в резервуарах / С. Н. Левин, И. А. Леонович, Е. С. Шацких, В. М. Писаревский // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2018. № 2. С. 23-27.

8. API RP 2350: 2005 Overfill Protection for Storage Tanks in Petroleum Facilities / American Petroleum Institute (API). Third Edition. January 2005.

9. Дегтярев, А. О. Анализ методики ультразвуковых измерений уровней взлива нефти и раздела фаз в вертикальных резервуарах / А. О. Дегтярев, Р. С. Мирошников // Молодежь и системная модернизация страны: Сборник научных статей Международной научной Конференции студентов и молодых ученых: в 2-х томах, Курск, 25–26 мая 2016 года / Ответственный редактор Горохов А.А.. Том 2. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2016. С. 198-201.

10. Качанов О.М. Новые возможности контроля уровня жидкости и мониторинга технологических процессов с применением неинвазивного ультразвукового метода TechnoLamb / О. М. Качанов, В. Г. Токарев, А. И. Куреньков, Д. В. Рыбко // Территория Нефтегаз. 2017. № 12. С. 40-44.